

ELABORACIÓN DE MAPAS UTILIZANDO IMÁGENES DE SATÉLITE
PÁG. 7



LOS PECES COMO INDICADORES DEL ESTADO DE SALUD DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS
PÁG. 12



NÚM. 57 NOVIEMBRE DE 2004

BioDIVERSITAS

BOLETÍN BIMESTRAL DE LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS REPTILES Y ANFIBIOS DE MÉXICO



En 1945 el famoso herpetólogo Hobart Smith, el científico que más ha contribuido al conocimiento de los anfibios y reptiles de México, describió una especie de lagartija (*Anolis taylori*) nueva para la ciencia que habitaba al suroeste del puerto de Acapulco (Smith y Spieler, 1945) y que se distingue por tener una de las áreas de distribución más restringidas entre los reptiles y anfibios de México.

Sigue en la pág. 2

Anolis taylori

© Gerardo Ceballos

GEORGINA SANTOS-BARRERA,[1] JESÚS PACHECO[2] Y GERARDO CEBALLOS[2]

Viene de la portada

LA CONSERVACIÓN DE LOS REPTILES Y ANFIBIOS DE MÉXICO



Crotalus transversus

© Gerardo Ceballos

En la época en que fue descubierta esta lagartija, Acapulco contaba con muy pocos habitantes y estaba rodeado de exuberantes selvas y manglares. Ahora, sin embargo, ese puerto es una extensa metrópoli de más de un millón de habitantes, donde las selvas han sido casi completamente destruidas y la fauna exterminada.

A fines de la década de 1990 llevamos a cabo un extenso trabajo de campo para inventariar los vertebrados de los remanentes de selva de Acapulco. Grande fue nuestro alivio al encontrar poblaciones pequeñas de *A. taylori* en el Parque Nacional El Veladero y entre los lotes baldíos de dos fraccionamientos cercanos a Puerto Marqués. Sin embargo, su conservación a largo plazo es incierta, a pesar de ser una especie catalogada como rara en la lista oficial de especies en peligro de México, ya que no existe ninguna seguridad de que algunos de los remanentes de selva en los que habita, incluyendo los del parque nacional, sobrevivan al crecimiento urbano de Acapulco. La difícil situación en la que se encuentra *A. taylori* es similar a la de cientos, tal vez miles, de otras especies de fauna y flora de México amenazadas con la extinción. Su futuro depende en gran medida del esfuerzo que hagamos por conservarlas en esta década.

La extinción de especies es uno de los problemas ambientales más apremiantes de la humanidad. Ante las elevadas tasas de pérdida de especies, una de las estrategias de conservación más extendida ha sido la creación de sistemas nacionales de reservas o áreas naturales protegidas. En México existen más de 150 reservas federales que protegen la mayoría de los ecosistemas del país y miles de especies de plantas y animales (Conanp, 2004). Sin embargo, había poca información sobre la efectividad de esas reservas para mantener la diversidad biológica. En este sentido, para consolidar la estrategia de conservación del país es fundamental priorizar la conservación de las áreas protegidas con base en su diversidad biológica y determinar las áreas adicionales que requieren ser convertidas en reservas para tener representadas al mayor número de especies (Ceballos, 1999).

Ésta no es una tarea sencilla porque México es uno de los cinco países biológicamente más diversos, la mayoría de las reservas fueron decretadas de manera ad hoc, y en muchos casos no cuentan con inventarios actualizados de especies. Con objeto de evaluar cuantitativamente la efectividad de las reservas y de aportar elementos para el diseño de una mejor estrategia de conservación, en la última década hemos desarrollado un programa para evaluar qué especies de vertebrados se encuentran representadas en reservas, cuáles son las prioritarias por su diversidad, y qué áreas adicionales requieren ser declaradas como reservas para tener representadas todas las especies de vertebrados. A la fecha hemos analizado el caso de los mamíferos y de las aves (Ceballos, 1999; Ceballos *et al.*, 2002; Ceballos, en prensa; Ceballos *et al.*, en revisión). Esos trabajos indican que en las áreas

Cuadro 1.
Riqueza, endemismo y estado de conservación de los anfibios y reptiles de México.

Taxa	Riqueza	Endémicas	Restringidas	Extintas	En riesgo
AMPHIBIA					
Anura	230	137	138	1	103
Caudata	128	103	114	0	88
Gymnophiona	2	1	1	0	2
Total	**360**	**241**	**253**	**1**	**193**
REPTILIA					
Amphisbaenia	3	3	3	0	3
Sauria	389	245	245	0	205
Serpentes	363	187	192	0	176
Testudines	46	15	23	0	33
Crocodylia	3	0	1	0	3
Total	**804**	**450**	**464**	**0**	**420**
Gran total	**1 164**	**691**	**717**	**1**	**613**

protegidas del país están representadas 98% de las especies de aves y alrededor de 75% de las especies de mamíferos. Sin embargo, las especies más necesitadas de protección, como las endémicas y las que se encuentran en peligro de extinción, están subrepresentadas en las áreas protegidas. En este trabajo extendemos nuestro análisis a los anfibios y reptiles. En especial las preguntas que hemos abordado son las siguientes: ¿cuál es la representación de las especies de reptiles y anfibios en las principales reservas de México?; ¿cuál es la prioridad de conservación de esas áreas naturales protegidas?; ¿qué sitios adicionales requieren ser protegidos para complementar el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas? Con esta información México cuenta ahora con una sólida base cuantitativa para definir políticas para fortalecer su sistema de áreas protegidas. En este sentido es uno de los pocos países que ya cuenta con información básica actualizada, lo que lo coloca como uno de los líderes en este campo.

Los anfibios y reptiles de México

Estos dos grupos de vertebrados han dado fama mundial a México por su enorme diversidad y por su alto grado de endemismo. De hecho, México y Australia son las dos naciones más ricas en reptiles y anfibios. En la actualidad se conocen en México 1 164 (360 anfibios y 804 reptiles) (cuadro 1; Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2004).

Alrededor de 60% de las especies de reptiles y anfibios son endémicas del país (cuadro 1). El endemismo se concentra principalmente en las islas del Golfo de California, la Sierra Madre del Sur de Guerrero y Oaxaca y el Eje Volcánico Transversal (Adler, 1996; Campbell y Lamar, 2004; Grismer, 2002).

Un alto porcentaje de las especies, tanto endémicas como no endémicas, es de distribución restringida. En este trabajo consideramos como especies de distribución restringida a aquellas que habitan en sólo una de las regiones bióticas propuestas por Flores-Villela (1993). En este sentido, 717 especies (62% del total nacional) presentan una distribución restringida, de las cuales 253 son anfibios (70%) y 464 reptiles (40%).

Especies prioritarias para la conservación

Una tarea fundamental en la conservación de especies es determinar cuáles son prioritarias debido a que se encuentran en un mayor riesgo de extinción (UICN, 2003). En este sentido, aquí seguimos la clasificación de Ceballos (1999) en la que se considera especies prioritarias primero a las que ya están catalogadas como en peligro de extinción y después a las que no están clasificadas pero presentan características que las hacen inherentemente vulnerables. En este esquema de priorización la mayor jerarquía se otorga a las especies endémicas de distribución restringida, seguidas de las endémicas de distribución amplia y las no endémicas de distribución restringida (cuadro 1). Es decir, una especie endémica de distribución restringida como *Anolis taylori* es de mayor prioridad que una especie no endémica de distribución restringida como *Bufo boreas*. En esta clasificación se consideran también prioritarias las especies endémicas y no endémicas de distribución restringida, aunque todavía no se les considere oficialmente en riesgo. Dada su distribución limitada, tales especies son más susceptibles a la extinción (e.g. Gaston y Blackburn, 1996).

El número de especies consideradas en riesgo de extinción, y por lo tanto de mayor prioridad para la conservación, es alarmante. Se estima que alrededor de 613 especies (53%) de reptiles y anfibios presentan algún grado de amenaza. Además, existen alrededor de otras 100 (9%) especies endémicas, como la lagartija arborícola (*Abronia chiszari*), o no endémicas como el caimán (*Caiman crocodylus*) que se consideran de prioridad II, ya que tienen distribuciones restringidas.

¿Qué especies de reptiles y anfibios están protegidas en reservas?

En cuanto a su representación en las principales reservas de México, la situación de los reptiles y anfibios es más apremian-

Abajo:
Agalychnis callidryas



Crocodylus acutus

© Gerardo Ceballos

te que la de mamíferos y aves, ya que un número menor de especies se encuentra protegido (Fig. 1). Alrededor de 61% (492) de las especies de reptiles están representadas en por lo menos una reserva. La situación de los anfibios es crítica, ya que sólo 38% (137 especies) tiene poblaciones protegidas. Es importante indicar que este análisis probablemente subestima el número total de especies protegidas en ambos grupos, ya que hay reservas adicionales que no se incluyeron por falta de datos.

Los grupos de especies prioritarias para la conservación, como las endémicas y en riesgo de extinción, se encuentran representadas en menores proporciones que las especies no endémicas y consideradas fuera de riesgo (Fig. 1). Por ejemplo, sólo 29% de los anfibios y 46% de los reptiles endémicos de México presentan poblaciones en estas reservas, lo que significa una debilidad del sistema de áreas protegidas. Finalmente, es también interesante indicar que la mayoría de estas especies se encuentra representada en una sola reserva (Fig. 2). Es claro que el papel de otras reservas ya establecidas o reservas adicionales está relacionado con incrementar el número de poblaciones protegidas, lo que reduce las probabilidades de extinción.

Áreas prioritarias para la conservación

Con objeto de jerarquizar la importancia de la conservación de esas reservas con base en su riqueza de especies usamos un método de complementariedad, que tiene como propósito maximizar el número de especies representadas en el menor número de reservas (Margules y Pressey, 2000). Las reservas con una mayor contribución de especies son las de mayor prioridad para la conservación (Fig. 3). De las 33 reservas analizadas, 31 fueron necesarias para tener representadas todas las especies de reptiles y anfibios con poblaciones en esas reservas (Fig. 3). Las cinco más importantes son Los Tuxtlas (Veracruz) con 145 especies, Sierra Gorda (Querétaro) con 98, Islas del Golfo de California con 89, Tehuacán-Cuicatlán (Oaxaca) con 51, Chamela-Cuixmala (Jalisco) con 40 y Cañón de Santa Elena (Chihuahua) con 28 especies de anfibios y repti-

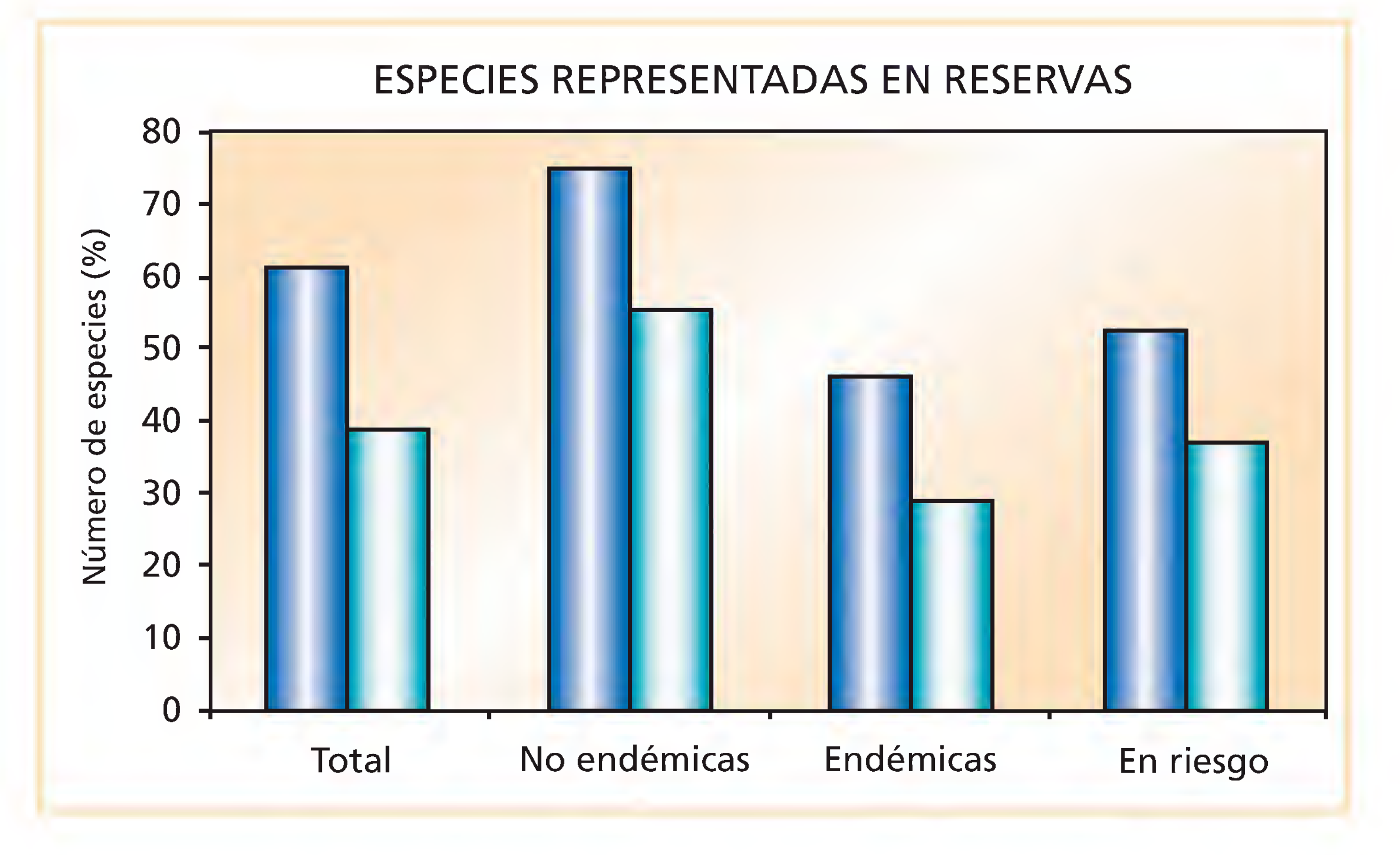
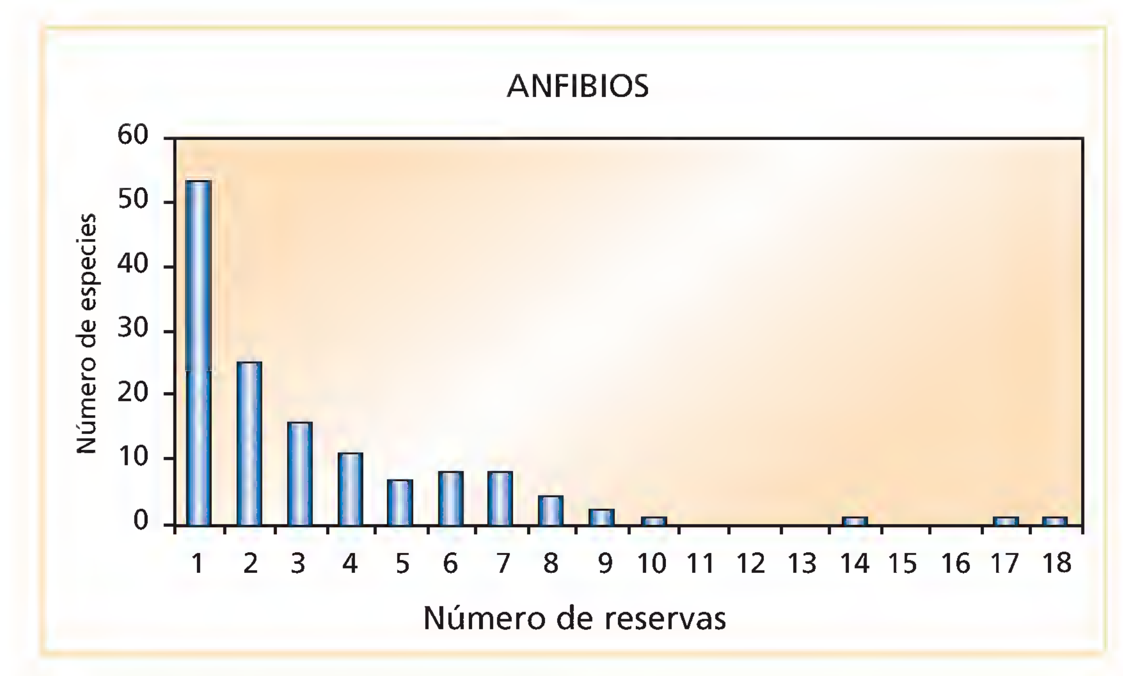
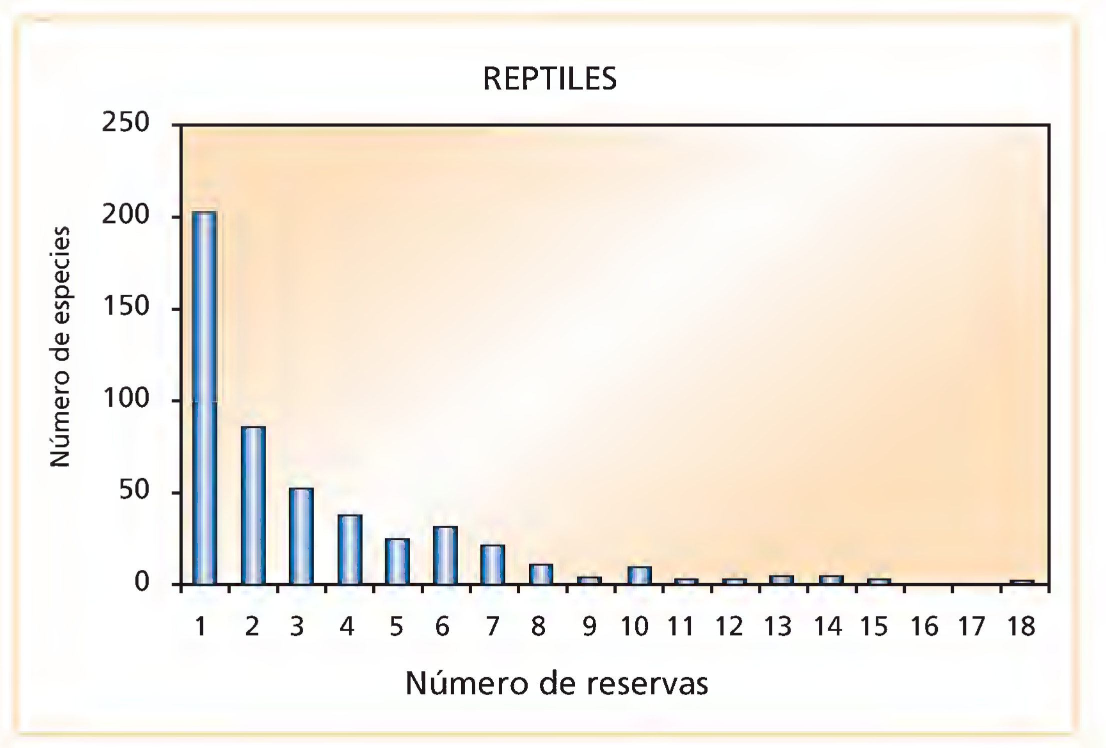


Figura 1. Especies de reptiles (barra azul) y anfibios (morada) presentes en las ANP de México. Es evidente que en las reservas está representado un mayor número de reptiles que de anfibios; también, que las especies no endémicas en ambos grupos están mejor representadas que aquéllas endémicas y en riesgo de extinción. Las implicaciones para la conservación son directas: se requiere un mayor número de áreas protegidas, en particular para las especies endémicas y en riesgo.

Figura 2.
Número de reservas en las que se encuentran representadas las especies de reptiles y anfibios. Es evidente que la mayoría de las especies sólo está representada en una reserva.





les. Las otras 28 reservas necesarias para tener representadas todas las especies con poblaciones en reservas aportaron de 1 a 27 especies.

Comentario final

Los análisis de especies de reptiles y anfibios representados en reservas, que complementan a los de mamíferos (Ceballos, 1999) y aves (Ceballos *et al*., 2002) indican claramente que existe una necesidad de aumentar el número de áreas naturales protegidas, con objeto de tener representadas todas las especies, en especial las endémicas de México y en peligro de extinción. Es imperativo, sin embargo, que la selección de las nuevas áreas que pudieran incorporarse al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas sea hecha por medio de métodos cuantitativos, para maximizar el número de especies protegidas en el menor número de reservas.

De estos estudios se desprende también que las áreas naturales protegidas seguirán siendo insuficientes para proteger la diversidad biológica de México, sobre todo si se considera la enorme riqueza de especies de plantas e invertebrados. En ese sentido, es indudable que existen oportunidades de mantener una fracción considerable de la diversidad biológica del país en áreas con algún tipo de manejo, que sea compatible con la conservación. Esto es posible aun en regiones con una alta deforestación (e.g. Daily *et al*., 2003). Es menester de académicos y conservacionistas evaluar el potencial de tales regiones para definir reglas de manejo que permitan optimizar el número de especies nativas en esos paisajes alterados por actividades antropogénicas.

Agradecimientos

Luis Canseco y David Valenzuela proporcionaron información valiosa para completar la base de datos de los herpetozoos de México. Álvaro Chaos nos asesoró amablemente con el análisis de complementariedad.



Gopherus flavomarginatus

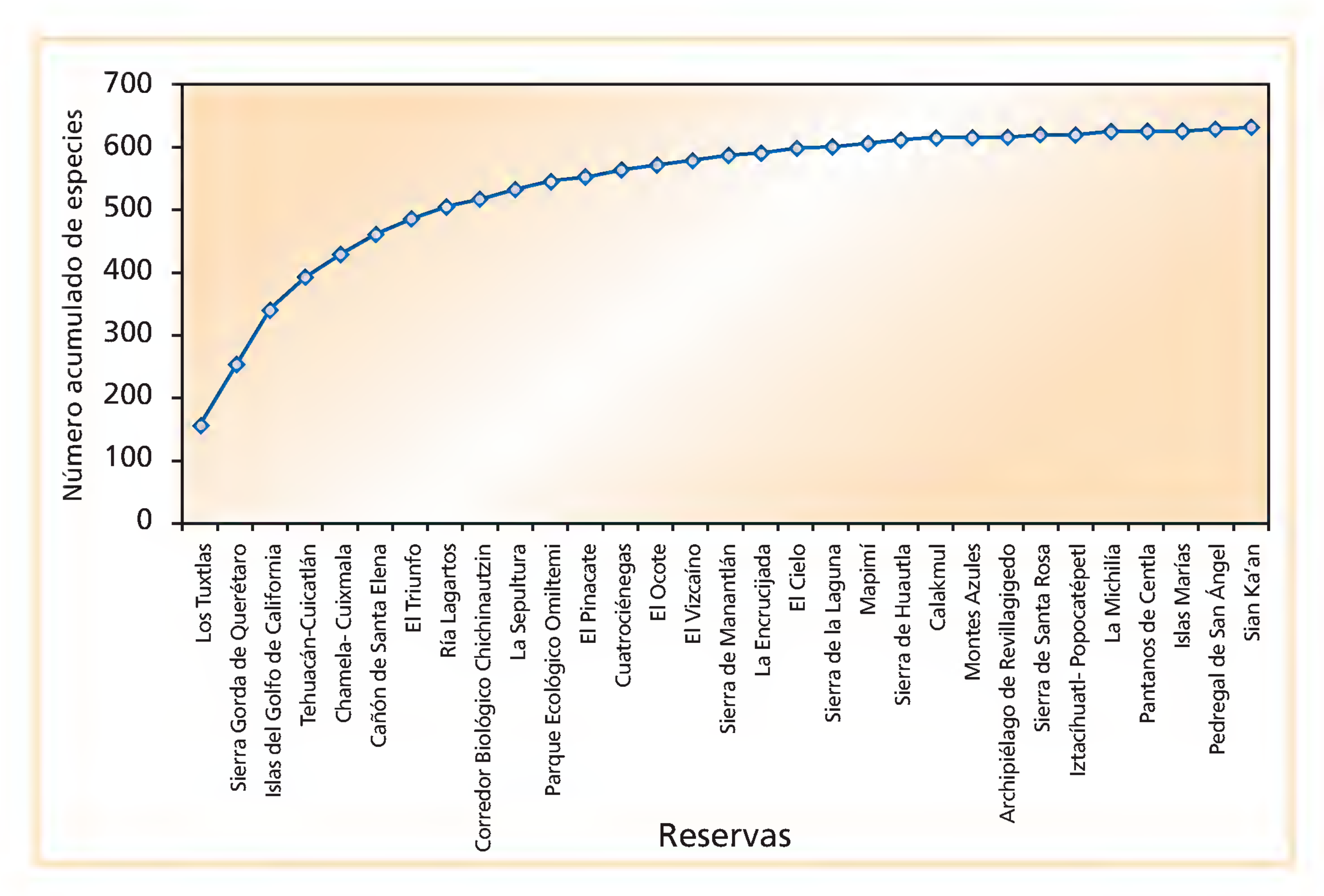


Figura 3. Complementariedad de las 35 reservas analizadas para determinar su jerarquía de conservación. Es notable que las primeras 10 reservas aportan 80% de las especies en el análisis. Estas reservas son las de mayor prioridad para la conservación. El resto son necesarias para tener representadas todas las especies, así como poblaciones adicionales.

Referencias

Adler, K. 1996. The salamanders of Guerrero, Mexico, with descriptions of five new species of *Pseudoeurycea* (Caudata: Plethodontidae). *Occasional Papers, Natural History Museum, University of Kansas* 177:1-28.

Campbell, J.A. y W. Lamar. 2004. *The Venomous Snakes of the Western Hemisphere*. 2 vols., Cornell University Press, Ithaca.

Ceballos, G. 1999. Áreas prioritarias para la conservación de los mamíferos de México. *Biodiversitas* 27: 1-8.

Ceballos, G., H. Gómez de Silva y C. Arizmendi. 2002. Áreas prioritarias para la conservación de las aves de México. *Biodiversitas* 41:1-7.

Ceballos, G. En prensa. Conservation priorities for the mammals from Mexico: Protected species and reserve networks. *Ecological Applications*.

Ceballos, G., H. Gómez de Silva y C. Arizmendi. En revisión. Complementarity analysis of bird species in Mexico's protected areas. *Biological Conservation*.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2004. *Áreas naturales protegidas de México: proyección internacional*. México.

Daily, G., G. Ceballos, J. Pacheco, G. Suzan y A. López. 2003. Countryside biogeography of neotropical mammals: Conservation opportunities in agricultural landscapes of Costa Rica. *Conservation Biology* 17:1-11.

Flores-Villela, O. 1993. Herpetofauna mexicana. *Carnegie Museum of Natural History, Special Publications* 17:1-73.

Flores-Villela, O. 1998. Herpetofauna de México: distribución y endemismo. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (comps.), *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*, pp. 251-278. Instituto de Biología, UNAM, México.

Flores-Villela, O. y L. Canseco-Márquez. 2004. Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana* 20:115-144.

Gaston, K.L. y T.M. Blackburn. 1996. Conservation implication of geographic range size-body size relationships. *Conservation Biology* 10: 638-646.

Grismer, L.L. 2002. *Amphibians and Reptiles of Baja California*. University of California Press, Berkeley.

Margules, C.R. y R.L. Pressey. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405:243-251.

Melo Gallegos, C. 2002. *Áreas naturales protegidas de México en el siglo XX*. Temas selectos de geografía de México, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Ochoa, O.L. 2003. *Análisis sobre los centros de endemismo de la herpetofauna mexicana*. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Smith, H.M. y R.A. Spieler. 1945. A new anole from Mexico. *Copeia* 1945:165-168.

UICN. *2003. 2003 IUCN Red List of Threatened species*. Gland.

Young, B., S. Stuart, J. Long y N. Cox. 2003. Over half of Mesoamerican amphibians threatened with extinction. *Froglog* 57:3-4.

[1] Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM. gsantos@miranda.ecologia.unam.mx

[2] Laboratorio de Ecología y Conservación de Mamíferos, Instituto de Ecología, UNAM. gceballo@miranda.ecologia.unam.mx

Pachymedusa dancicolor





ELABORACIÓN DE MAPAS UTILIZANDO IMÁGENES DE SATÉLITE

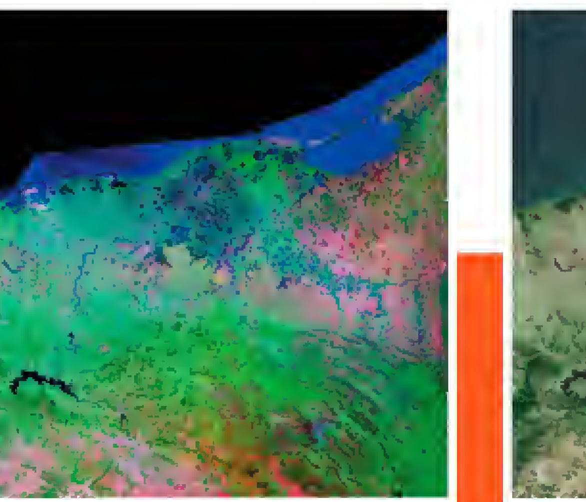
Desde épocas muy antiguas el hombre aprendió a representar gráficamente los territorios que ocupaba. La cartografía ha evolucionado a través de los siglos: hace 4 000 años los babilonios hicieron los primeros mapas en tablillas de barro, que sirvieron de base a los trazados en Europa en la Edad Media; éstos evolucionaron a los de navegación del siglo XIII y al primer globo terráqueo del siglo XV. Hoy día se utiliza la percepción remota para obtener imágenes de la Tierra desde el espacio.

Con el propósito de que los estudiantes de las escuelas de educación básica de México conocieran un mapa moderno de su país y de su entidad federativa, la Coordinación de Percepción Remota de la Conabio aceptó la propuesta del director general de la Comisión Nacional de Libros de Texto Gratuitos (Conaliteg) de la Secretaría de Educación Pública, Jorge Velasco, para elaborar un mapa de cada estado de la República utilizando imágenes de satélite. Con estos mapas se preparó un cartel por estado, y en él se incluyeron también un mapa de climas, otro de distribución de la vegetación y localización de las Áreas Naturales Protegidas y algunas fotografías alusivas a la flora y fauna de la entidad. La Conaliteg los distribuyó en cada uno de los 850 000 salones de preescolar, primaria y secundaria del país, como parte de su programa "Vestir el salón de clase".

Biodiversitas le pidió a María Isabel Cruz López y a Jesús Abraham Navarro Moreno, coordinadores de la elaboración de los mapas, que hicieran una breve descripción de cómo nació la idea y cómo se procesaron los mapas, misma que reproducimos a continuación.

La idea original fue aprovechar la imagen llamada "México: imagen desde el espacio", que fue elaborada por la Conabio utilizando imágenes del sensor MODIS provenientes del satélite Terra, que se reciben en la antena colocada en nuestras instalaciones. Al unir varias imágenes sin nubes de diferentes regiones del país, se obtuvo una imagen final de todo el territorio mexicano, que se usó de base para elaborar las de la mayor parte de los estados. Sin embargo, para obtener las de los 12 estados que tienen una extensión territorial reducida, decidimos utilizar imágenes Landsat que tienen mayor resolución. Por el cubrimiento de la imagen y por la localización, extensión y forma particular, fue necesario preparar mosaicos de cada estado. De esta manera se utilizaron 50 imágenes para elaborar 11 mosaicos.

Debido a que los mosaicos fueron elaborados con imágenes obtenidas en diferentes fechas y condiciones, se presentaron grandes variaciones entre ellas y fue necesario aplicar correcciones espectrales a los mosaicos con el fin de obtener una mejor representación visual (Fig. 1).



Antes de la corrección



Después de la corrección

Figura 1. Mosaico de imágenes Landsat ETM+742 en RGB correspondiente al estado de Tabasco.

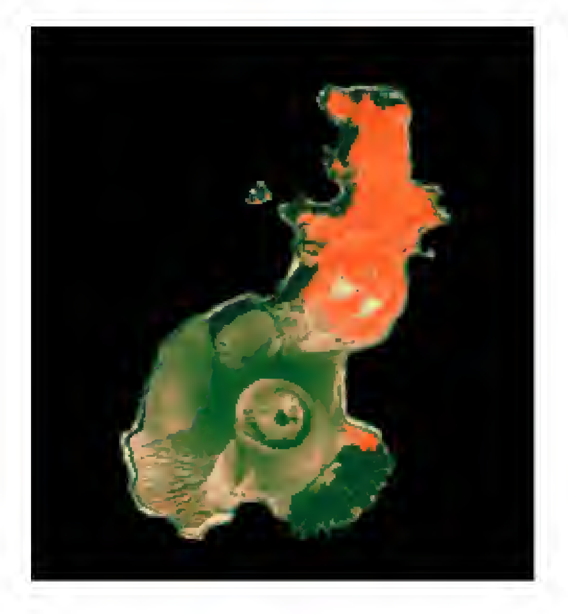




Figura 2. Imagen de la Isla San Benedicto.

Por otro lado, tuvimos que utilizar imágenes del satélite SPOT, que presentan mayor detalle, para poder visualizar adecuadamente la pequeña superficie de las Islas Revillagigedo.

Finalmente, para resaltar el relieve sobrepusimos el mosaico obtenido a un modelo digital del terreno (MDT). La Conabio contaba con el MDT de 90 metros, producido por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); sin embargo, para las seis entidades más pequeñas utilizamos el modelo digital del terreno de 50 metros, también elaborado por el INEGI.

Tratamos de conservar los colores reales de todas las imágenes para asociarlos con los elementos de la superficie terrestre. La vegetación está en distintos tonos de verde, café y amarillo para facilitar la interpretación de sus diferentes tipos y densidad. Las áreas agrícolas se distinguen de la vegetación natural gracias a las formas y texturas. Los cuerpos de agua aparecen en tonos de azul y verde, e incluso negro, de acuerdo con las condiciones de extensión y profundidad de cada uno. Las zonas de escasa o nula vegetación se representan en colores muy claros, y las nubes en blanco. Los poblados o las zonas urbanas se observan en azul-gris en las imágenes Landsat, y en tonos café claro y gris en las MODIS.

Con base en las imágenes elaboramos los mapas y establecimos la escala y la proyección cartográfica. Un mapa es una representación de la superficie terrestre, que se realiza a una escala y con una proyección cartográfica que permita la transformación de la superficie esférica de la Tierra en una superficie plana (Caire, 2002).

En nuestra selección de la escala tomamos en cuenta cuatro factores, tres de ellos variables: extensión territorial, forma del estado y tipo de imagen; el cuarto, que es el formato del cartel, fue el mismo en todos los casos. A diferencia de los tradicionales, en los mapas elaborados con imágenes de satélite se debe considerar la resolución espacial; por ello, y por los cuatro factores descritos, usamos diferentes escalas. Las proyecciones cartográficas que utilizamos fueron la Cónica Conforme de Lambert y la Universal Transversa de Mercator.

Para facilitar la comprensión de la imagen decidimos agregar información complementaria, como poblaciones, carreteras, ríos y sitios arqueológicos. En las imágenes de satélite se pueden identificar elementos del paisaje como sierras, volcanes, cerros, lagos, lagunas y presas; decidimos seleccionar los rasgos que tuvieran una identificación sencilla en la imagen y fueran de relevancia para el estado.

Para representar la información complementaria utilizamos la generalización cartográfica asociada con la transformación de la realidad en una representación gráfica por medio de signos. Algunos autores como Robinson *et al*. (1987) han distinguido los siguientes procesos de generalización:

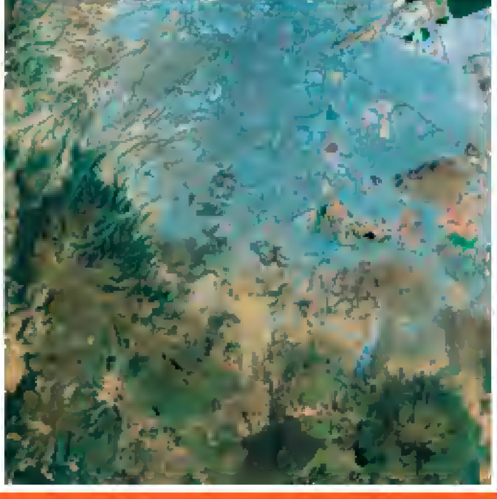
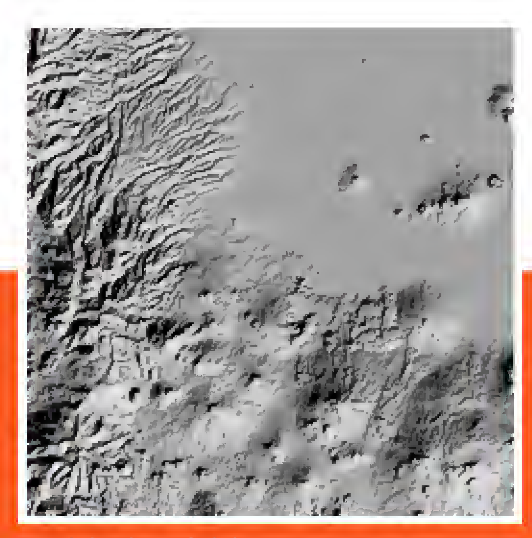


Imagen sin modelo



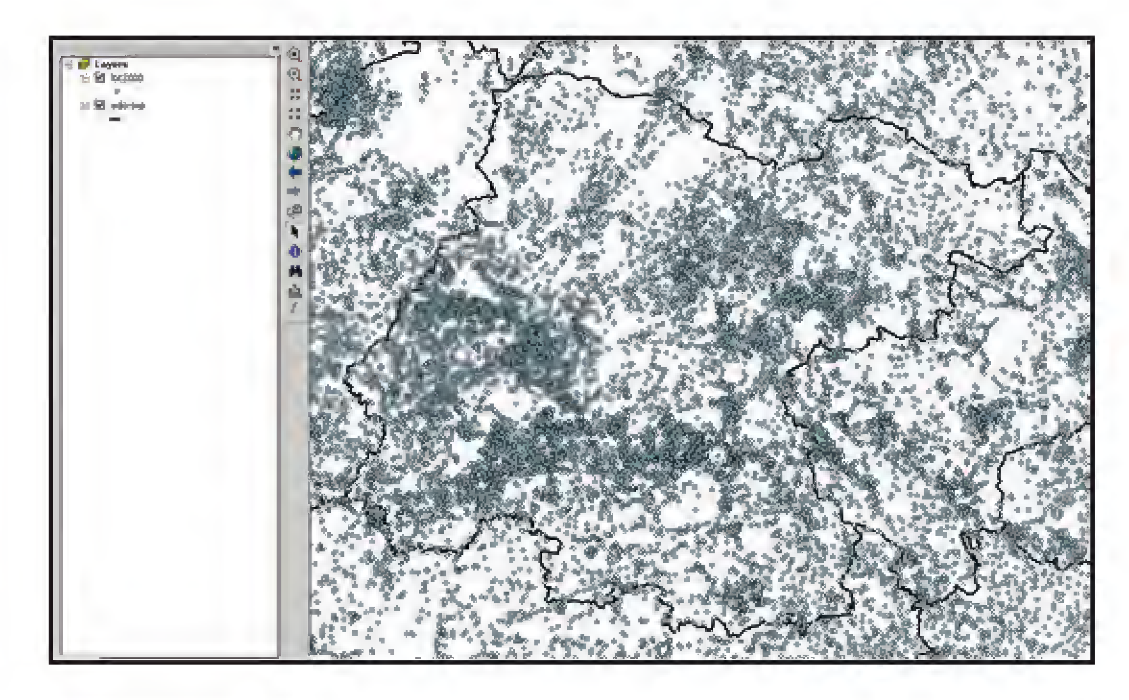
Modelo digital del terreno en tercera dimensión



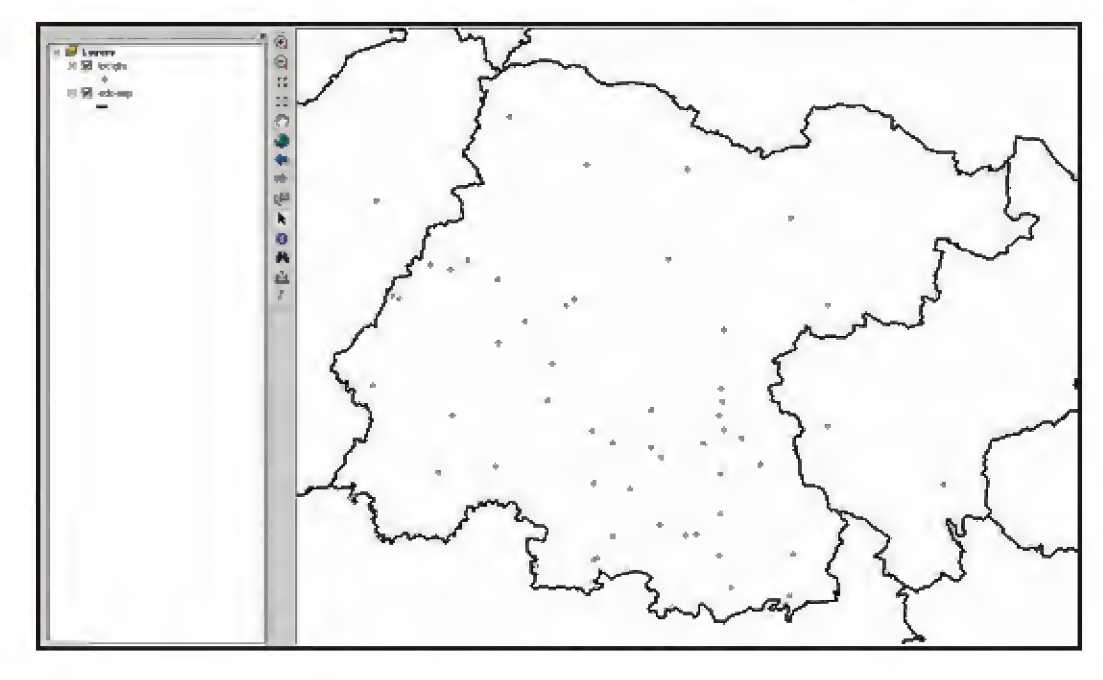
Imagen con modelo digital del terreno

Figura 3. Sobreposición de la imagen y el modelo digital del terreno.

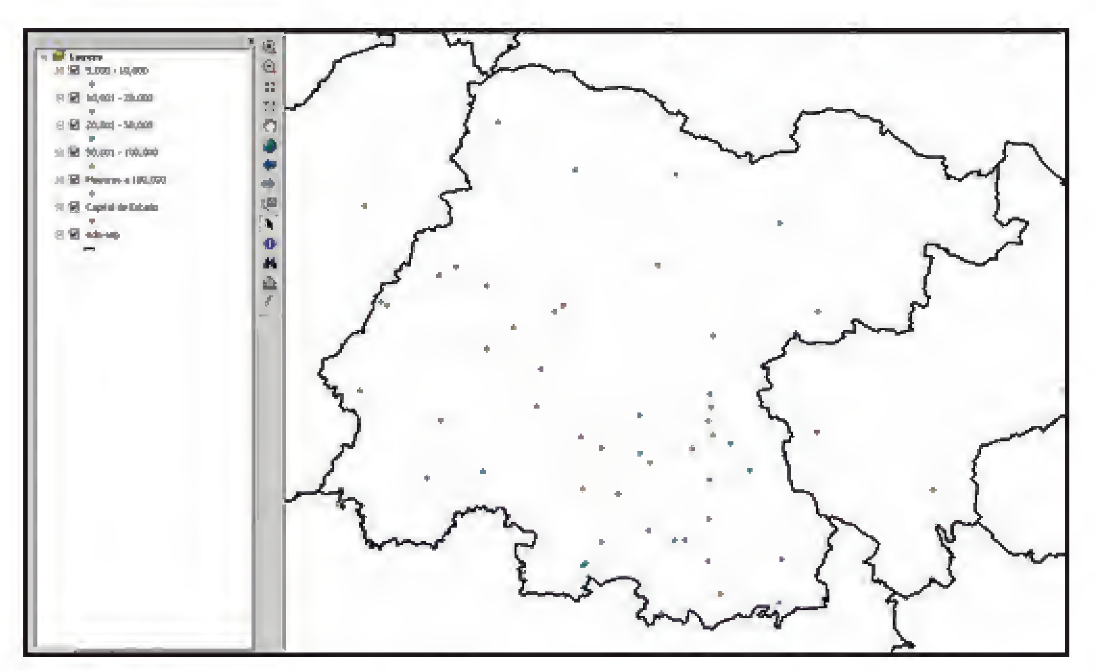
Figura 4. Ejemplo de generalización cartográfica.



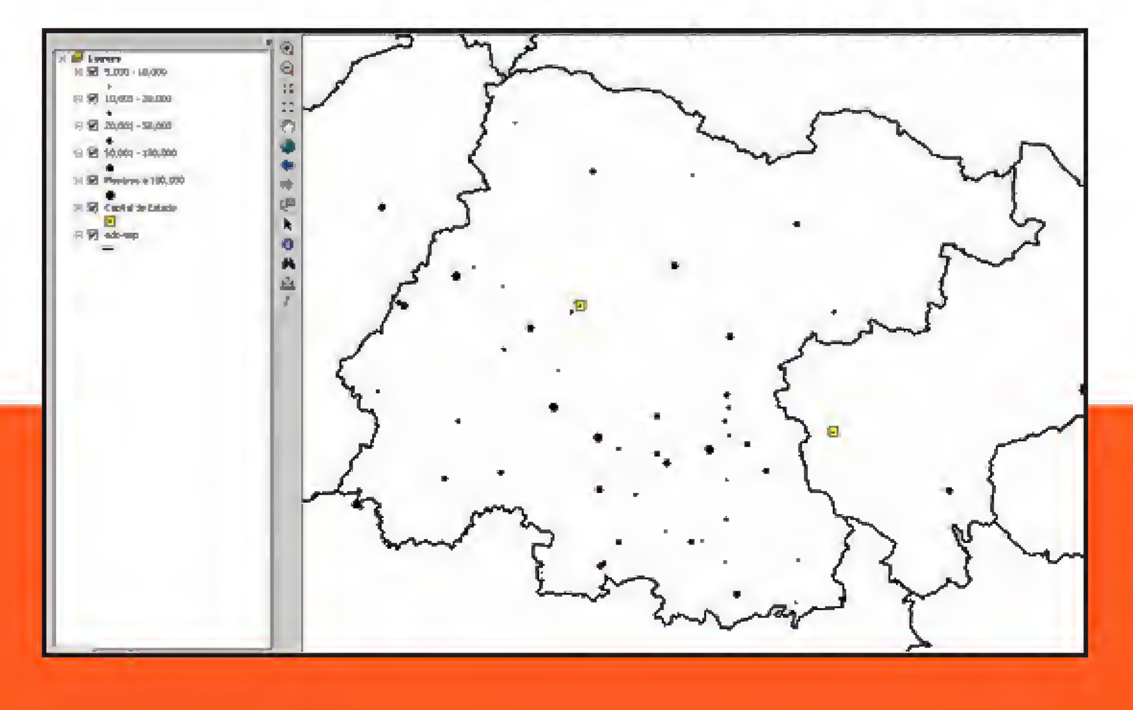
Selección



Simplificación



Clasificación



Simbolización

• *Selección*. Se seleccionan los rasgos de acuerdo con la finalidad del mapa.

• *Simplificación*. Se determinan las características más importantes de los elementos seleccionados.

• *Clasificación*. Se agrupan los símbolos de acuerdo con su significado.

• *Simbolización*. Se eligen los símbolos que representarán cada fenómeno.

• *Inducción*. Se extiende la información del mapa, más allá de los elementos representados, realizando inferencias.

En la figura 4 presentamos un ejemplo de este proceso.

La generalización fue uno de los retos más grandes que enfrentamos, ya que es un complejo proceso que conlleva una gran responsabilidad y que no se puede automatizar fácilmente porque para cada mapa es diferente. Las características en cada mapa se representan por medio de signos; éstos pueden ser puntuales, lineales o zonales, y las diferencias entre ellos se traducen en variables visuales de forma, color, orientación, valor, textura o tamaño. Elegir los signos fue tarea difícil, ya que usar muchos enrique-

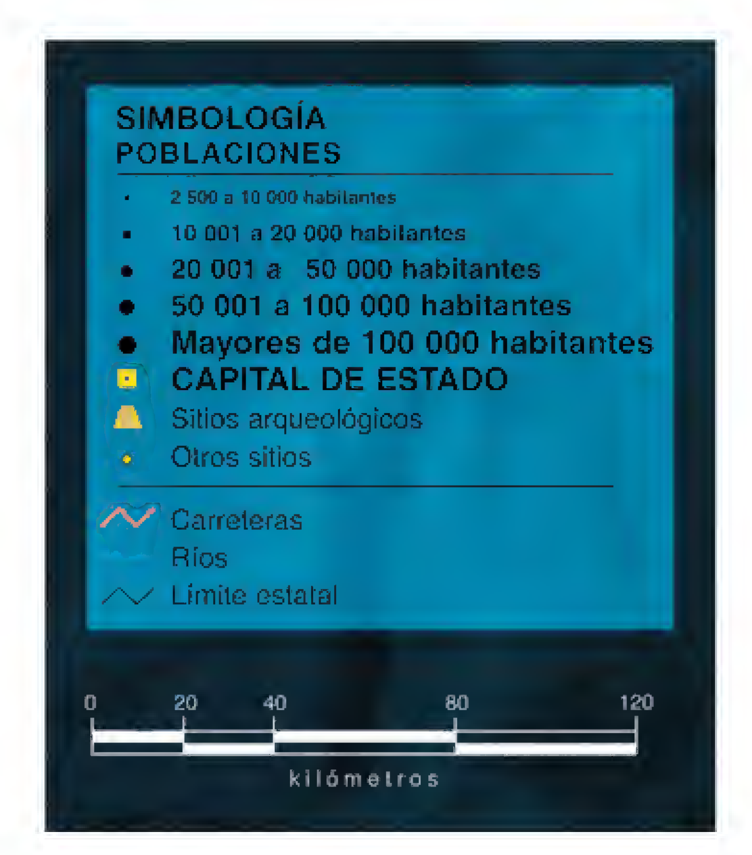


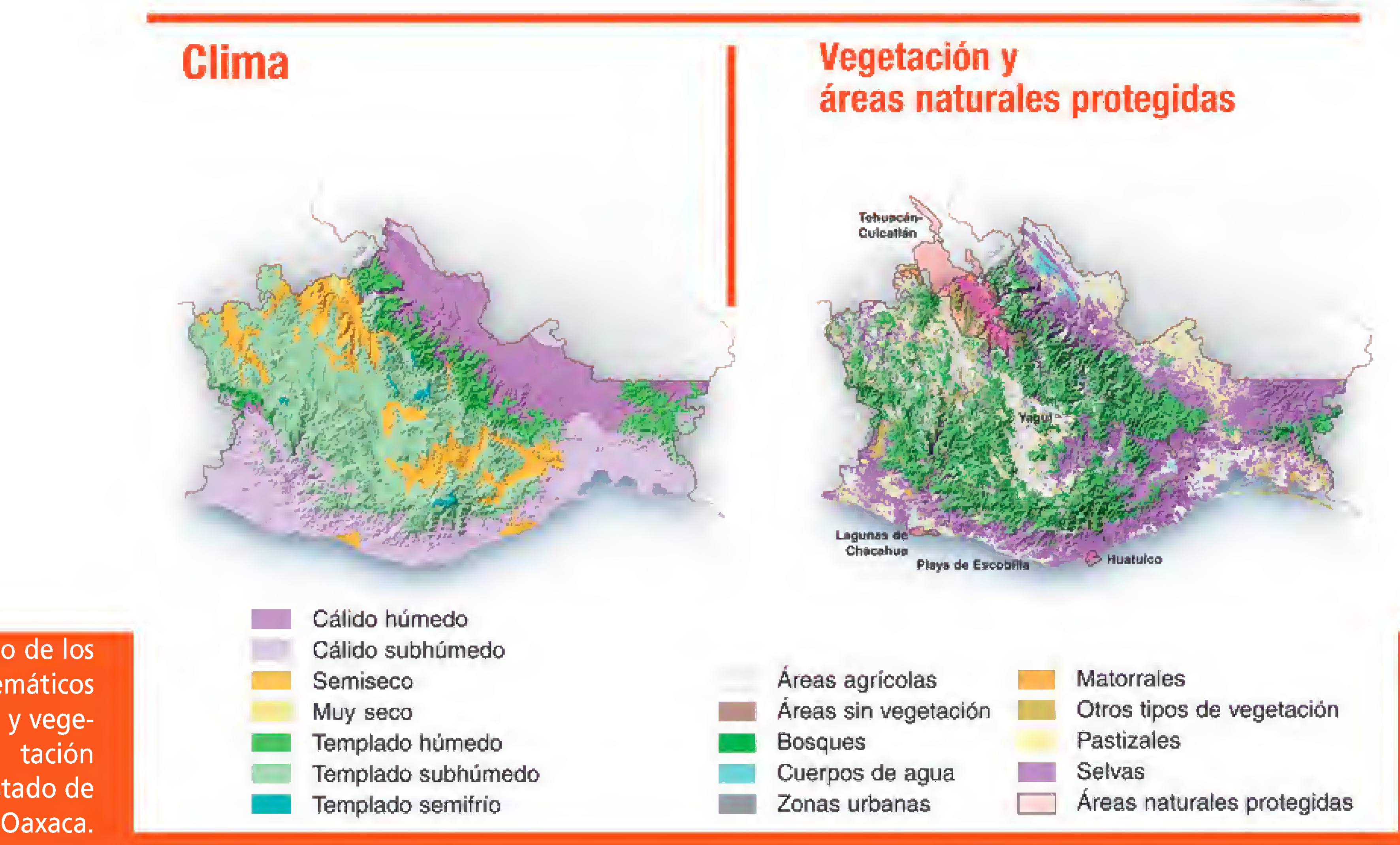
Figura 5.
Ejemplo de simbología para el mapa de Baja California.

cería el mapa, pero afectaría su legibilidad.

Decidimos diseñar una simbología que permitiera la asociación de los fenómenos representados, y para ello utilizamos signos de implantación puntual y de implantación lineal. Los primeros se usaron para representar localidades y sitios arqueológicos, y aplicamos en ellos variables visuales de forma, tamaño y color. Con esta simbología se pretende que el usuario asocie las localidades (representadas por un punto negro) y las pueda diferenciar de la capital estatal (cuadrado amarillo). Los sitios arqueológicos (sólo en algunos estados) presentan una variación de forma, y se utilizó el signo "pirámide" por su inmediata asociación. Con la variable visual del tamaño el usuario puede diferenciar, ordenar y jerarquizar las poblaciones según su número de habitantes. Por último, con la variable visual del color el lector distingue localidades importantes por factores distintos al número de habitantes. Por otra parte, en los símbolos de implantación lineal (por ejemplo carreteras, ríos, límites estatales) sólo se aplica la variable visual del color.

Para complementar la información y mejorar la interpretación del mapa principal se agregaron al cartel dos mapas temáticos: el de clima y el de vegetación. El mapa de climas fue reclasificado en ocho categorías; la implantación de los signos es zonal y la variable visual es el color, que representa un orden. El mapa de vegetación y uso del suelo fue reclasificado en nueve categorías y se incluyeron las Áreas Naturales Protegidas (sólo las federales que se encuentran completa o parcialmente contenidas en el estado); la implantación de los signos es zonal y la variable visual es el color.

Cada mapa estuvo sujeto a una inspección minuciosa –digamos un control de calidad–; leímos y revisamos detenidamente toda la información, y para ello contamos



Ejemplo de los mapas temáticos de clima y vegetación del estado de Oaxaca.

con el apoyo de personas que conocían ampliamente cada uno de los estados.

Una parte importante del proyecto fueron las consultas a los usuarios potenciales, como son los maestros de escuelas urbanas y rurales, particulares y públicas, y sus alumnos de primaria.

Trabajar en este proyecto fue para todos muy interesante y estamos satisfechos con el resultado obtenido; ahora sólo esperamos que estos mapas sean de utilidad para la educación de los niños y del público en general.

Además de los coordinadores, en este trabajo participó Norma Moreno Díaz, de la Subdirección de Sistemas de Información Geográfica, y colaboraron Erik de Badts y Gerardo López, de la Coordinación de Percepción Remota. La adaptación de los mapas y de la tipografía para el cartel fue realizada por Rosalba Becerra, y el diseño estuvo a cargo de Renato Flores, bajo la coordinación de Fulvio Eccardi y Leticia Mendoza.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a las personas que colaboraron en la realización de este proyecto: Verónica Aguilar Sierra, Carlos Jesús Arias, Laura Arriaga Cabrera, Hesiquio Benítez Díaz, Simey D. Cruz Jarquin, Francisco Cruz R., Alberto Chavarría Canseco, María del Carmen Donovarros Aguilar, José Manuel Espinoza Rodríguez, José Antonio González-Iturbe Ahumada, Francisco González Medrano, José Manuel Gómez Ladrón de Guevara, Thalía Iglesias Chacón, Margarita Jiménez Cruz, Raúl Jiménez Rosenberg, Efrén Lara Garibo, Jorge Larson Guerra, Julio Lemus Espinal, Elías López Silva, Pablo Mier Chapela, Nadya Moreno Almeraya, Enrique Muñoz López, Pablo Ortuño Sánchez, Gustavo Ramírez Santiago, Luis Gerardo Ramos Cruz, Rainer Ressl, Antonio Guillermo Robles Caraza, Ramón Solano Barajas, Assefaw Tewolde Medhin, Rocío Villalón Calderón, niños y maestros de la escuela primaria "Francisco I. Madero", del Municipio de San Francisco Teopan, Oaxaca, maestros de la escuela primaria "Profra. Josefina Tolsá Marañón", de la Delegación Gustavo A. Madero, Distrito Federal, así como a todas y cada una de las personas que contribuyeron con sus comentarios.

Bibliografía

Caire Lomelí, Jorge (2002). *Cartografía básica*. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Robinson, Arthur (*et al.*) (1987) *Elementos de cartografía*. Omega, Barcelona.



Diseño final del cartel del estado de Baja California.

Ernesto Velázquez Velázquez[1] y Ma. Eugenia Vega-Cendejas[1]

LOS PECES COMO INDICADORES DEL ESTADO DE SALUD DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

El crecimiento exponencial que ha experimentado la población humana en las últimas décadas ha tenido efectos desastrosos sobre la pérdida de la biodiversidad, hecho que ha sido ampliamente documentado en los ecosistemas terrestres, particularmente para el grupo de los vertebrados, por obvias razones.



La pérdida de la diversidad en ambientes acuáticos ha recibido comparativamente poca atención, aun cuando la degradación física, química y biológica en estos ambientes es ampliamente reconocida como un problema mayor. Los ecosistemas acuáticos soportan una extraordinaria variedad de especies, muchas de las cuales se están perdiendo, junto con la degradación de sus hábitats, aun antes de ser descritas.

Como sucede con los terrestres, los ecosistemas acuáticos están sometidos a la influencia del hombre, lo que ha resultado en distintos grados de perturbación o degradación, causando algunos cambios irreversibles, sobre todo en aquellos ecosistemas cercanos a los centros urbanos, en donde el vertido de drenajes, la canalización y extracción de aguas, el turismo y el propio crecimiento urbano han alterado los ciclos naturales de circulación de las corrientes y nutrientes, y los movimientos migratorios de las especies.

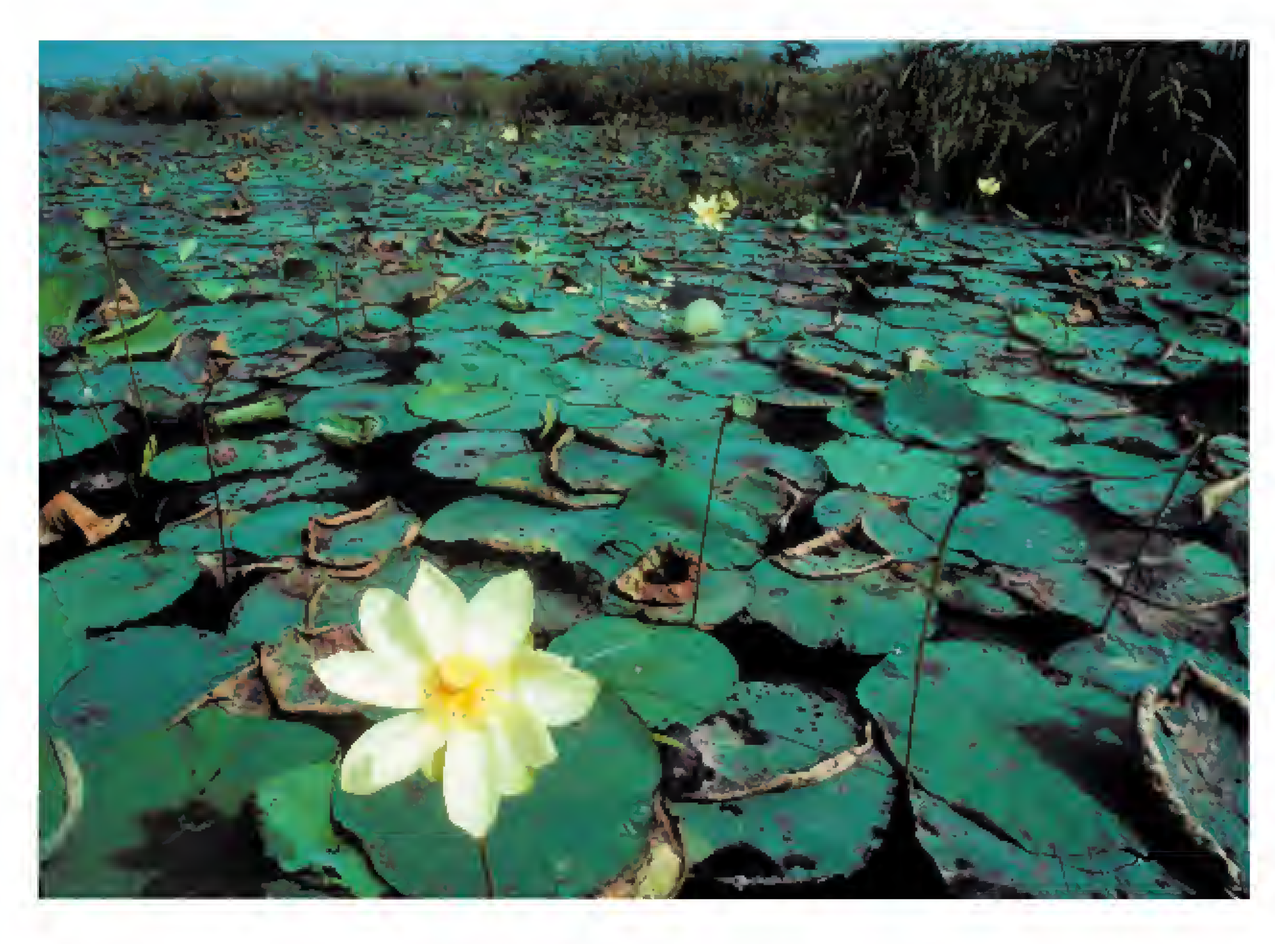
Como respuesta ha surgido la necesidad de realizar un monitoreo de los recursos biológicos con el propósito de detectar cambios significativos en la abundancia del recurso, entender las razones que provocan esos cambios, determinar los efectos del manejo sobre la dinámica de las poblaciones y comunidades, y sugerir cuestiones clave en las investigaciones aplicadas (Menges y Gordon, 1996). De ahí que las evaluaciones regionales de las condiciones ambientales sean necesarias para la restauración de los ecosistemas y el mantenimiento de la calidad ambiental o la integridad biótica, particularmente en los sistemas acuáticos.

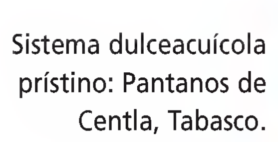
¿Qué es el índice de integridad biológica?

La integridad biológica ha sido definida como "la capacidad de un ecosistema para soportar y mantener una comunidad adaptada, integrada y balanceada de organismos que tienen una composición de especies, diversidad y organización funcional comparable a los hábitats naturales de la región" (Karr, 1981).

La integridad biológica de un sitio es una medida de su estado de salud; está asociada con las poblaciones de las especies nativas que interactúan siguiendo procesos naturales y funcionales de la comunidad. El índice de integridad biótica (IBI por sus siglas en inglés) es una herramienta metodológica que integra diferentes atributos de las comunidades de peces y provee además una herramienta rápida y de bajo costo relativo para evaluar la salud general de un ecosistema acuático determinado.

El IBI fue propuesto para evaluar los efectos de las actividades humanas sobre los ecosistemas acuáticos, ya que las comunidades biológicas que éstos albergan son muy sensibles, de muchas formas, a los cambios en los factores ambientales debido a impactos antropogénicos, y se ha utilizado parti-





Sistema dulceacuícola prístino: Pantanos de Centla, Tabasco.

cularmente para evaluar ambientes lóticos dulceacuícolas de Norteamérica.

Los peces como indicadores de la calidad ambiental

Muchos grupos de organismos han sido propuestos como indicadores de la calidad ambiental en ecosistemas acuáticos. Sin embargo, las comunidades de peces han emergido como indicadores para los programas de monitoreo biológico por muchas razones, entre las que se incluyen las siguientes: son organismos relativamente fáciles de capturar e identificar; existe una amplia información sobre las historias de vida de muchas especies; las comunidades generalmente comprenden una amplia variedad de especies que representan diferentes niveles tróficos (incluyendo especies que consumen alimentos tanto de origen acuático como terrestre); son los organismos mejor conocidos de estos hábitats, tanto por el público general como por los científicos, y están presentes en los pequeños cuerpos de agua y aun en aquellos ecosistemas con ciertos niveles de contaminación.

En función de esto los peces han sido ampliamente utilizados para evaluar la integridad biótica en arroyos y ríos de Norteamérica (Karr, 1981), México (Contreras-Balderas *et al*., 2002) y Brasil (Araújo, 1998). Han sido adaptados para evaluar la calidad ambiental en lagos (Minns *et al*., 1994) y más recientemente en estuarios de Norteamérica (Deegan *et al*., 1997) y Europa (Gerson *et al*., 2000).

En la mayor parte de los estudios realizados se ha tenido que recurrir a la búsqueda de información histórica que permita conocer las condiciones naturales de los ecosistemas y poder obtener el número de especies de peces que componían la comunidad, para relacionarlos con la situación actual; un común denominador es que éstos han sido desarrollados en zonas de gran impacto humano, donde la contaminación y la introducción de especies exóticas son aspectos en común, y los sitios prístinos son casi imposibles de hallar (sitios de referencia).

Adaptación y caracterización del IBI

El IBI está diseñado y adaptado a partir de tres atributos básicos de las comunidades de peces: riqueza y composición de especies, estructura trófica y condición y abundancia de los peces.

Riqueza y composición de especies

La elección de la riqueza de especies y el número total de individuos como primer criterio es obvio, debido a consideraciones biogeográficas, estacionales y de características del área (tamaño);

Cuadro 1.
Parámetros frecuentemente utilizados en el desarrollo de los IBI, basados en la comunidad de peces.

Composición y riqueza de especies	
a]	Número de especies
b]	Presencia de especies intolerantes
c]	Número de especies sensitivas (intolerantes)
d]	Número de especies bénticas
e]	Número de especies locales (como centrárquidos, ciprínidos)
f]	Número de especies exóticas
g]	Índice de diversidad (Shannon-Wiener)
Composición trófica	
h]	Proporción de omnívoros
i]	Proporción de detritívoros
j]	Proporción de invertívoros
k]	Proporción de carnívoros tope
Abundancia y condición de los peces	
l]	Número de individuos
m]	Proporción de peces con anomalías





Izquierda: contaminación orgánica por un ingenio azucarero en Veracruz.

Derecha: bagres en un cuerpo de agua con lirio acuático y escasez de oxígeno.

por ejemplo, un trecho medio de un río en Illinois puede albergar entre 10 y 15 especies, pero un trecho bajo del mismo puede soportar dos veces o más especies (Karr, 1981).

Cada especie de pez tiene ciertas características de tolerancia a la calidad del agua, el hábitat u otras condiciones. Con el IBI son evaluados diferentes parámetros de la composición de especies para conocer la tolerancia en cada especie (cuadro 1).

La presencia de especies intolerantes es un criterio importante. En cada ecorregión existen especies fácilmente identificables que son las primeras en desaparecer con un aumento en las alteraciones causadas por el hombre. La declinación puede deberse a la mala calidad del agua, a la degradación del hábitat o a la combinación de estos dos factores, por lo que el conocimiento de especies intolerantes encontradas en cada región deberá ser consultada con los ictiólogos locales para la asignación de los grados de tolerancia.

Otro parámetro deberá ser la abundancia de especies que son tolerantes a los ambientes degradados; son aquellas que permanecen después de que la mayoría desaparece por efectos de ambientes degradados.

Estructura trófica

Un indicador favorable de la calidad del agua de un sistema puede ser obtenido examinando la estructura trófica de la comunidad que alberga. Las alteraciones de la calidad del agua u otras condiciones del hábitat, incluyendo el uso del suelo en las cuencas, comúnmente resultan en la disminución de muchos recursos alimenticios para los peces. Los cambios resultantes en las comunidades de peces pueden ser medidas mediante una serie de indicadores tróficos; se ha encontrado (Karr, 1981) que un sitio declina en calidad a medida que la proporción de omnívoros se incrementa. La dominancia de estas especies crece presumiblemente como resultado de la degradación de la base alimentaria, especialmente de los invertebrados. En consecuencia, las especies oportunistas aumentan en número y proporción.

Karr (1981) estableció que muestras con menos de 20% de individuos omnívoros son buenas, mientras que aquellos sitios con más de 45% de omnívoros en la muestra están ampliamente degradados.

Otro criterio importante es la proporción de peces insectívoros o de consumidores de invertebrados en general (invertívoros). En términos generales existe una fuerte correlación negativa entre la abundancia de peces invertívoros y la de omnívoros.

La presencia de carnívoros es otro parámetro indicador de la calidad de un ambiente. Poblaciones viables y saludables de estas especies (carnívoros tope) indican una comunidad saludable y diversificada; a medida que la calidad del agua declina, las poblaciones de esas especies disminuyen o desaparecen. Una proporción mayor de 5% de estos individuos indica ecosistemas saludables; mientras que muestras con menos de 1% de estos organismos indican condiciones de mala salud del ecosistema.

Abundancia y condición

Las capturas elevadas por unidad de esfuerzo (CPUE) están frecuentemente asociadas a ecosistemas ricos y de buena calidad del agua, mientras que las CPUE bajas son más comunes en sistemas severamente degradados o sometidos a una pesquería intensiva. La reducción del número esperado de individuos para un determinado esfuerzo de muestreo podría indicar alguna forma de estrés que estaría afectando los requerimientos de sobrevivencia de una comunidad de peces (Paller *et al.*, 1996).

Un criterio adicional que parece estar ligado a la clasificación de un ambiente es la frecuencia de peces con tumores, lesiones en las aletas o deformidades, parásitos u otros defectos del cuerpo. Araújo (1998) ha documentado la existencia de un gran número de peces con anormalidades asociadas a una variedad de contaminantes en el río de Paraiba (Brasil).

En el cuadro 1 se muestran ejemplos de algunos de los atributos biológicos (métricas) que han sido empleados y que han probado su utilidad en los ambientes acuáticos.

Método de obtención del IBI

Para cada uno de los criterios el investigador asigna un valor a la muestra: un signo menos, un cero, o un signo más. Este enfoque propuesto por Karr (1981), permite la flexibilidad para acomodar la variación evolutiva y las historias ecológicas de los peces entre las cuencas. Arbitrariamente se han asignado valores a cada uno de los grados a partir de la propuesta original (–) = 1, (0) = 3, (+) = 5. Otros autores (Contreras *et al.*, 2002) prefieren usar (–) = 0, (0) =5 (+) = 10. Estos valores son sumarizados para todos los criterios (parámetros) y para cada uno de los sitios o localidades muestreadas, y la suma total nos da el índice de calidad de la comunidad.

El sistema original propuesto por Karr (1981) clasifica el ambiente en seis clases de calidad (excelente, bueno, razonable, pobre, muy pobre, ausencia de peces) (cuadro 2), basadas en doce atributos de la comunidad.

Cuadro 2.
Clases de integridad biótica, atributos y puntuaciones.

Clases de integridad	Atributos
Excelente (57-60)	Comparables a las mejores condiciones naturales, sin influencia del hombre; todas las especies nativas esperadas para el hábitat o tamaño del cuerpo de agua presentes, incluyendo las formas intolerantes; estructura trófica balanceada.
Buena (48-52)	Riqueza de especies un tanto por debajo de lo esperado, debido especialmente a la pérdida de las formas intolerantes; algunas especies con distribución de la abundancia o de tamaño inferior al óptimo; la estructura trófica muestra algunos signos de estrés.
Regular (39-44)	Signos de deterioro adicional, incluye pocas especies intolerantes; estructura trófica más alterada (p. ej., aumento en la frecuencia de omnívoros); las mayores clases de edad de carnívoros tope pueden ser raras.
Pobre (28-35)	Dominada por omnívoros, especies tolerantes a la contaminación y de hábitat generalistas, pocos carnívoros tope; tasas de crecimiento y factores de condición comúnmente disminuidos; presencia de formas híbridas y peces con enfermedades.
Muy pobre (<24)	Pocos peces presentes, la mayoría introducidos o formas muy tolerantes; los híbridos son comunes; parásitos y enfermedades frecuentes, los daños en las aletas y otras anomalías (tumores) son comunes.
Ausencia de peces (0)	

Conclusiones

No obstante que desde principios del siglo pasado las características de las comunidades de peces han sido utilizadas para medir la salud relativa de los ecosistemas acuáticos, esta metodología alcanzó un notable desarrollo en los últimos 20 años; la integridad biológica es un concepto que hace poco ha empezado a ser explorado en México, justamente como respuesta al renovado interés de las convenciones internacionales sobre conservación, pero sobre todo por la atención reciente que se ha puesto en el manejo y conservación de las cuencas hidrológicas. México es un país que ofrece buenas oportunidades para el desarrollo de esta metodología, puesto que todavía es factible encontrar zonas casi prístinas, o por lo menos no tan severamente degradadas, en particular en la región sur-sureste del país, que son necesariamente utilizadas como zonas de referencias para la estandarización del IBI.

Literatura citada

Araújo, F.G. 1998. Adaptation of the index of biotic integrity based on fish assemblages in the Paraiba do Sul River, RJ, Brazil. *Rev. Bras. Biol.* (online). Nov. 1998, vol. 58, núm. 4.

Contreras-Balderas, S., R.J. Edwards, M.L. Lozano-Vilano y M.E. García-Ramírez. 2002. Índice biológico de integridad en el río Sabinas, Coahuila, México. *Res. VII Cong. Nal. de Ict.,* Puerto Ángel, Oaxaca, México, 3 pp.

Deegan, L.A., J. Finn, S.G. Ayvazian, C.A. Ryder-Kieffer y J. Buonaccosi. 1997. Development and validation of an estuarine biotic integrity index. *Estuaries* 20:601-617.

Gerson, A.F., W.P. Williams y R.G. Bailey. 2000. Fish assemblages as indicators of water quality in the middle Thames estuary, England (1980-1989). *Estuaries* 23 (3):305-317.

Karr, R.J. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6(6):21-27.

Minns, K.C., V.W. Cairs, R.G. Randall y J.E. Moore. 1994. An index of biotic integrity (IBI) for fish assemblages in the littoral zone of Great lakes' areas of concern. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*. 51:1804-1822.

Paller, H.P., M. Reichert y J.M. Dean. 1996. Use of fishes communities to assess enviromental impacts in South Carolina coastal plain streams. *Transactions of the American Fisheries Society*. 125:633-644.

Menges, S.E. y D.R. Gordon. 1996. Three levels of monitoring intensity for rare plant species. *Natural Areas Journal* 16 (3):227-237.

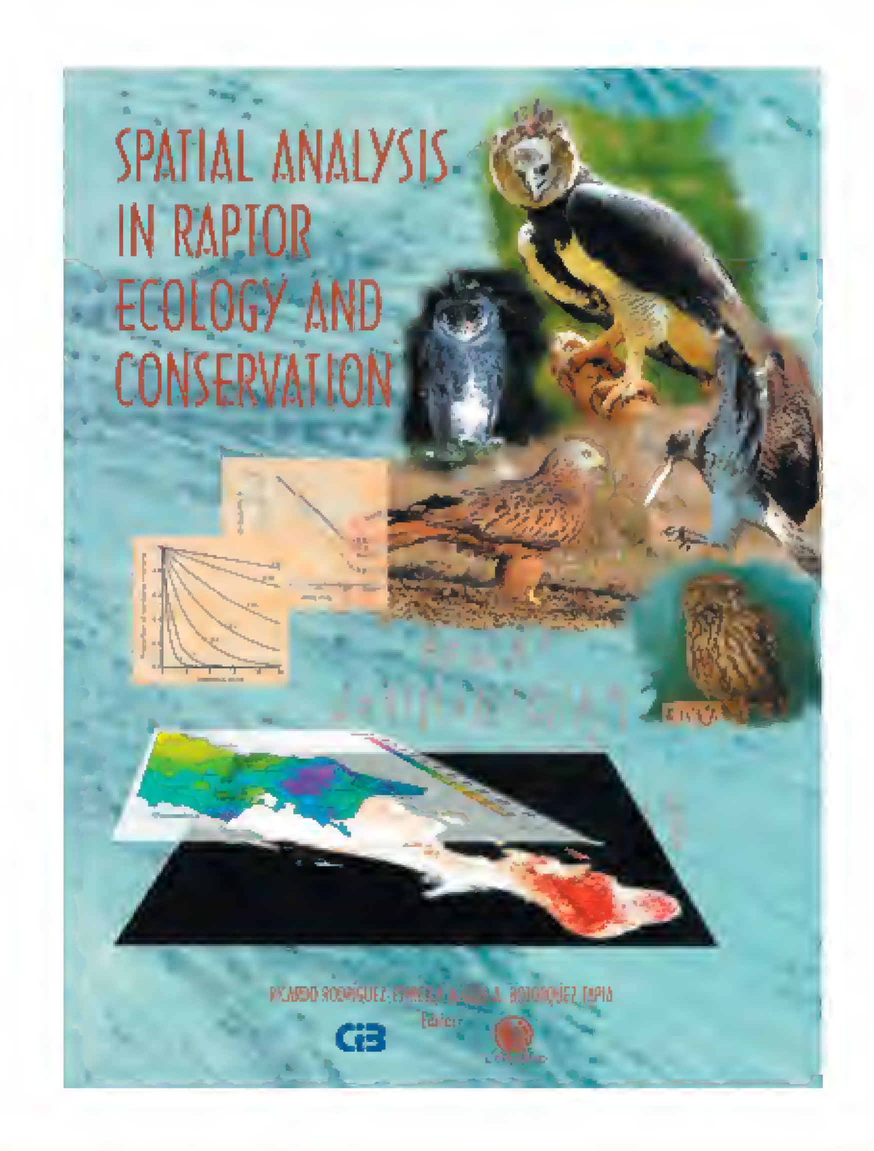
[1] Recursos Marinos, Cinvestav-Mérida. ernestov@mda.cinvestav.mx

Spatial Analysis in Raptor Ecology and Conservation

Debido al creciente impacto de las actividades humanas en la vida silvestre del planeta, se hace cada vez más claro que los análisis locales de los hábitat son insuficientes para comprender el comportamiento de poblaciones de animales. Aunque algunas poblaciones locales se pueden estudiar con los métodos tradicionales, relacionar grandes poblaciones con los cambios ambientales a través del espacio geográfico requiere una nueva tecnología.

El Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta adecuada para este fin. Se puede sistematizar una gran cantidad de información satelital para describir patrones geográficos de uso de tierras y cobertura vegetal y después estos datos pueden compararse con la información de los sitios donde se encuentran las poblaciones silvestres.

En este libro compilado por Ricardo Rodríguez-Estrella y Luis A. Bojórquez-Tapia y publicado por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. y la Conabio, se describe en 10 capítulos la utilización de la tecnología del SIG en el estudio de las relaciones entre aves rapaces de amplia distribución geográfica y su medio. Se muestran ejemplos desde regiones sub tropicales –como las del águila arpía– hasta climas templados y boreales –como los del águila calva.



La CONABIO tiene un centro de documentación e imágenes con libros, revistas, mapas, fotos e ilustraciones sobre temas relacionados con la biodiversidad; más de 3 000 títulos están disponibles al público para su consulta. Además distribuye cerca de 150 títulos que ha coeditado, que pueden adquirirse a costo de recuperación o donarse a bibliotecas que lo soliciten. Para mayor información, llame al teléfono 5528-9172, escriba a cendoc@xolo.conabio.gob.mx, o consulte los apartados de Centro de Documentación y de Publicaciones en la página web de la CONABIO (www.conabio.gob.mx).



COMISIÓN NACIONAL
PARA EL CONOCIMIENTO
Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

La misión de la CONABIO es promover, coordinar, apoyar y realizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica, así como a su conservación y uso sustentable para beneficio de la sociedad.

SECRETARIO TÉCNICO: Alberto Cárdenas Jiménez
COORDINADOR NACIONAL: José Sarukhán Kermez
SECRETARIO EJECUTIVO: Jorge Soberón Mainero
DIRECTORA DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS: Ana Luisa Guzmán

COORDINACIÓN Y FOTOGRAFÍAS: Fulvio Eccardi ASISTENTES: Thalía Iglesias, Leticia Mendoza
biodiversitas@xolo.conabio.gob.mx
DISEÑO ORIGINAL: Luis Almeida, Ricardo Real DISEÑO: Tools Soluciones Gráficas
TIPOGRAFÍA Y FORMACIÓN: Socorro Gutiérrez PRODUCCIÓN: BioGraphica
CUIDADO DE LA EDICIÓN: Antonio Bolívar
IMPRESIÓN: Offset Rebosán, S.A. de C.V.

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD
Liga Periférico Sur-Insurgentes 4903, Parques del Pedregal, 14010 México, D.F.
Tel. 5528-9100, fax 5528-9131, www.conabio.gob.mx